ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG EINES NEUEN KUNSTSTOFFVERBANDES AUS POLYURETHAN

Inaugural–Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich–Wilhelms–Universität
zu Bonn

vorgelegt von
RAINER M. AICHINGER–HINTERHOFER
aus Bardenberg/Aachen

Bonn 1976

ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG EINES NEUEN KUNSTSTOFFVERBANDES AUS POLYURETHAN

Inaugural–Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich–Wilhelms–Universität
zu Bonn

vorgelegt von
RAINER M.AICHINGER–HINTERHOFER
aus Bardenberg/Aachen

Bonn 1976

Angefertigt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. A. Blömer

2. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. M. Siedek

Aus der Chirurgischen Abteilung des
St. Barbara-Hospitals Gladbeck
Chefarzt: Priv. Doz. Dr. A. Blömer

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Druck: R. Schwarzbold, 5305 Alfter-Witterschlick/Bonn

meinem Vater

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523714_0051

Inhaltsübersicht

A. EINLEITUNG
1. Geschichte der Stützverbände
2. Problemstellung

B. TECHNISCHE ENTWICKLUNG

C. PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN
1. Gewicht
2. Festigkeit
3. Temperaturverhalten
4. Röntgenologische Untersuchungen
5. Wasserdampfdurchlässigkeit

D. METHODE
1. Herstellung der Verbände
2. Sicherheitsmaßnahmen

E. KLINISCHE ERGEBNISSE
1. PUR-Schienenverbände
2. Zirkuläre PUR-Verbände
3. PUR-Großverbände

F. DISKUSSION

G. ZUSAMMENFASSUNG

H. LITERATURVERZEICHNIS

A. Einleitung

1. Geschichte der Stützverbände

Die ersten Hinweise auf erstarrende Verbände finden sich in den hypokratischen Schriften. Es werden darin Verbände für Nasenbeinbrüche aus Weizenmehlkleister unter Zusatz von Weihrauchharzen und Gummi sowie Klumpfußverbände aus Wachs und harzgetränkten Binden beschrieben. Knochenbrüche behandelte man damals mit sinnvoll konstruierten Schienen.

In seinem Aufsatz: "Zur Geschichte des erstarrenden Verbandes" beschreibt Steudel1947 ausführlich die Entwicklung vom Weizenmehlkleisterverband der Griechischen Antike bis zum Gipsverband. Die Bestreichung von Frakturen und Läsionen mit Gips wurde erstmals durch den Perser Abu Mansur Muwaffak (970 n.Ch.) berichtet. Diese Methode wurde dem Abendland jedoch nicht vermittelt. Der Gips war im Klassischen Altertum auch hier durchaus bekannt, doch fand er vorwiegend in den bildenden Künsten Anwendung. Die ersten Berichte über die Arbeit mit Gips auf medizinischem Sektor stammen von einem englischen Konsulatsbeamten, der gegen Ende des 18. Jahrhunderts aus Mesopotamien berichtete. Es handelt sich dabei um ein Verfahren zur Behandlung von Frakturen mittels Aufstreichen von Gips auf gebrochene Glieder. Dieses Verfahren fand in Europa jedoch nur wenig Anhänger. Erst dem holländischen Militärarzt, Antonius Mathijsen, gelang es 1851 dem Gipsverband eine Form zu geben, die allen Ansprüchen, die an den erstarrenden Verband gestellt werden müssen, gerecht wird.

Im Jahre 1852 veröffentlichte er seine Erfahrung in der kleinen Schrift:"Eine neue Art der Verwendung des Gipsverbandes bei Knochenbrüchen, ein Beitrag zur Militär-Chirurgie." Über diese aufsehenerregende Erfindung und ihre Dramatik berichtet Valentin 1956 in seiner Veröffentlichung "Die Geschichte des Gipsverbandes."

Mathijsen spricht bereits in seiner Veröffentlichung von "Wikkeln" - also den Vorläufern unserer heutigen Gipsbinden. Er benutzte Binden aus Baumwollflanell, bestreute sie mit Gipspulvern und legte sie vor Gebrauch solange in Wasser, bis keine Luftblasen mehr aufstiegen. Dann wickelte er die Binden jeweils mit Überdecken der halben vorhergehenden Bindentour um das betroffene Glied. Auf diese Weise erhielt er nach der Trocknung einen relativ festen und haltbaren Verband.

Zu Lebzeiten Mathijsens und nach seinem Tode hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Gipsbände zu modifizieren bzw. durch andere Materialien zu ersetzen. So gibt Koch in einer kaiserlichen Patentschrift 1882 ein kompliziertes Verfahren zur Herstellung einer Verbandpappe an, die mit einer alkoholischen Lösung von Schellack, Geigenharz, Terpentin, Fichtenharz usw. präpariert wurde. Aus dem gleichen Jahre datiert eine Patentschrift von Vogel, der einen plastischen Verband aus Kolophonium, Steinkohlenteer, Pech, Kalk usw. herstellt. Durch Einlegen in heißes Wasser wird dieser Verband plastisch und ergibt nach dem Erkalten einen festen Verband.

Der Versuch, Kunststoff als Material zu benutzen, wird um die Jahrhundertwende von Hersing mit Zelluloid unternommen, das bereits 1894 zum Verschluß von Defekten an der Schädeldecke benutzt worden war.(Heinze 1955).
Hersing erwärmte Zelluloidblätter in heißem Spiritus und wikkelte sie um die ruhigzustellende Extremität. Nach 15 Minuten begann das Material wieder zu erhärten und lieferte einen festen, flüssigkeitsresistenten Verband.

Ebenfalls erwärmt wurden von Spuhl und Wirth 1930 Binden, die anstatt mit Gips mit Paraffin oder einem ähnlichen, in der Wärme erweichenden Stoff, beschickt waren. Nach der Abkühlung ergaben auch sie einen starren Verband.

Aber nicht nur organische Substanzen, sondern auch Metalle wurden zur Herstellung von Stützverbänden verarbeitet. Die Firma W.J.Teufel stellte 1930 dünne Metallfolien her, die je nach der gewünschten Festigkeit in mehreren Touren um die verletzte Extremität gewickelt wurden und die neben der Festigkeit den Vorteil der leichten Sterilisierbarkeit besaßen.
Nachdem die Versuche, die von Mathijsen entwickelten Gipsbinden zu modifizieren, z.B. durch Gipshanfschienen 1878, Essigsäure-Gipsbinden 1893, Stärkebinden 1910 gescheitert waren, gelang erst nach 1930 eine entscheidende Weiterentwicklung. (Cellona-Almanach 1970)

Die Firma Lohmann KG 1938 entwickelte die sogenannte fixierte Gipsbinde, die den Verbänden eine größere Festigkeit und geringeres Gewicht brachte. Dazu wurde eine Mischung verschiedener Substanzen wie Bolus, Glyzerin, stearinsaures Natrium, Zinkoxyd und Wasser auf eine Binde, die als Trägerschicht diente, mit Hilfe einer Klebemasse aufgebracht.

1936 entwickelte Memminger in Zusammenarbeit mit der Fahlberg-List AG einen Baumwoll-Zelluloseazetat-Verband. Baumwoll- und Zelluloseazetatfasern in Bindenform wurden nach dem Anlegen mit einem Lösungsmittel der Azetat-Zellulose überstrichen. Dies ergab nach Verdampfen des Lösungsmittels einen festen, luftdurchlässigen Verband.

1948 beschrieb van Arkel in seinem Aufsatz "Soll der Gipsverband außer Gebrauch kommen?" einen neuartigen Verband. Dieser bestand aus einem "Plastik" genannten Gewebe, aus feinen Glas- und Zelluloseazetatfasern. Durch Eintauchen in Wasser wurde die Masse weich und zäh und konnte dann angewickelt werden. Nach Verdunsten der Feuchtigkeit entstand ein fester, poröser, milchglasartiger Verband. Als Nachteile gab der Autor langsamere Trocknungszeit und schlechtere Modellierbarkeit als bei Gipsverbänden an.

Hoppe verwandte 1951 für Fixationsverbände ein Verfahren mit Polyurethanschaum. "Auf das Körperglied wird eine bei Normaltemperatur schaumfähige Spachtelmasse aufgetragen und auf das Glied eine aus Holz, Metall oder Kunststoff bestehende Form gelegt. Nach Beendigung des Schaumvorganges, der durch Eigenreaktion in 12 bis 15 Minuten abgeschlossen ist, wird die Form abgenommen, so daß das Glied von einer aus dem schaumfähigen Stoff gebildeten Hülle umgeben ist, die trotz des leichten Gewichtes das kranke Glied stützt und festlegt." Anscheinend konnte damals noch kein Polyurethanhartschaum hergestellt werden, denn die so entstandene Schutzhülle war von elastischer und gummiähnlicher Konsistenz, so daß eine absolute Ruhigstellung nicht gewährleistet war.

1953 entwickelte Pahde die pneumatische "Transport- und Lagerungsschiene" zur Behandlung von Knochenbrüchen und Verletzungen. Diese Schiene bestand im wesentlichen aus einer doppelwandigen Gummimanschette, die mit Hilfe eines Ballons aufgeblasen und deren Druck mittels eines Manometers abgelesen und beliebig eingestellt werden konnte. Dieser Verband hat in verschiedenen Modifikationen als einfach zu handhabender "Notgipsverband" in der Humanmedizin Verwendung gefunden.
(Gardner 1962, Hartmann 1965, Mouret 1965).
Egen und Schelzig (1953) arbeiteten mit einem thermoplastischen Kunstharz. Die Substanz wurde dielektrisch erwärmt, hierdurch erweicht und dann angelegt. Nach dem Kühlen erstarrte die Masse zu einem festen Verband. Die Abnahme erfolgte wiederum durch Erwärmen.

Biermann (1954) gab einen Verband an, der sich aus einer synthetischen Textilfaser in Verbindung mit Zelluloseazetat zusammensetzte. Die Binde wurde vor dem Anlegen in eine Lösung aus Azeton und Weichmachern getaucht und anschließend entsprechend einem Gipsverband zirkulär oder als Longuette verwendet. Als nachteilig erwies sich die erst nach 10 bis 12 Stunden endgültig erreichte Festigkeit und Belastungsfähigkeit.

In zahlreichen Veröffentlichungen befassen sich seit 1955 Schulze und Wilhelm mit der Weiterentwicklung der Kunstharzverbände. Bei dem von ihnen vorgestelltem Tränkharzverband handelt es sich um mit Härter präparierten Mullbinden, die in ein flüssiges Kunstharz eingelegt werden. Beigefügt ist ein Katalysator. Nach 3 Minuten Eintauchzeit kann der Verband wie ein Gipsverband angelegt werden. Er ist nach 10 bis 15 Minuten fest, aber erst nach 6 bis 12 Stunden voll belastungsfähig. Dies bedeutet neben der etwas umständlichen Herstellung und der Luft- und Wasserundurchlässigkeit einen wesentlichen Nachteil. Allerdings berichten Schulze und Wilhelm über gute klinische Erfahrungen, wie auch Swolinsky (1958) in Schweden.

1955 berichtet Gehrke über die Verwundung von luftundurchlässigen Polyurethankunststoffplatten zur Schienung von Knochenbrüchen. Die starren Platten werden in einem Heißluftsterilisator, Warmwasserbad oder bei kleineren Größen auch unter der Soluxlampe erwärmt, wodurch sie weich, elastisch und fombar werden. In diesem Zustand werden sie an das ruhigzustellende Organ angelegt und erhärten innerhalb weniger Sekunden. Als nachteilig erweist sich jedoch, daß diese Methode nur unter Zuhilfenahme von Metallschienen ausgeführt werden kann.

Ende der 50. Jahre stellt die Firma Lohmann KG die Gipskunstharzbinde "Cellamin" vor. Cellamin enthält im Vergleich zu konventionellen Gipsbinden neben Gips ein Kunstharz, das die Eigenschaft hat, sich beim Tauchen der Binde in Wasser zu lösen. Während der Kristallisationsphase des Gipses geht ein Kondensationsvorgang des Kunstharzes unter Einwirkung eines beigefügten Katalysators vor sich, wobei die einzelnen Gipskristalle von dem Material völlig umschlossen werden. Dieser Vorgang spielt sich bei Zimmertemperatur ab ohne zusätzlich äußere Wärmezufuhr. Ist die Konsensation des Harzes abgeschlossen, ist die erreichte Kondensationsstufe nicht mehr wasserlöslich; da das Harz die einzelnen Gipskristalle umhüllt hat sind diese vollkommen vor Wassereinwirkung geschützt. Koelschtzky kommt 1959 zu einer durchaus guten Beurteilung der Wasserbeständigkeit und Badefestig-

keit. Das Auftreten von Allergien und auch die hohen Materialkosten beeinträchtigen jedoch die Verbreitung dieser Gipskunstharzbinde.

1955 wird eine neuartige Kunststoffbinde entwickelt, die unter dem Namen "Bofors Binde" bekannt ist. (Patent-Auslegeschrift 1955, Götze 1957) Es handelt sich dabei um eine mit einem Kunststoff imprägnierte Binde. Das harte Kunststoffmaterial (Metacrylate) wird in Form einer Dispersion fester Teilchen auf das Gewebe gebracht und gleichzeitig durch ein Bindemittel so fixiert, daß kein durchgehender Kunststoffilm erzeugt wird und das Gewebe seine Weichheit und Biegsamkeit behält. Die Versteifung bei Benutzung der Binde wird erreicht, durch Anquellen bzw. Anlösen des harten Kunststoffes mit Hilfe eines geeigneten Lösungsmittels, (Azeton, Aethylazetat) so daß nach dem Trocknen des Lösungsmittels ein steifer, zusammenhängender Film gebildet wird. Beim mehrschichtigen Verband kann dadurch eine genügende Festigkeit erreicht werden.

1957 berichtet Grunert und 1958 Herrmann über ein Fixationsverfahren mit Polyvinylclorid (PVC) Platten. Diese im kalten Zustand festen, dabei elastischen Platten, beginnen bei 60°C weich zu werden und haben bei 70°C bis 75°C etwa die Eigenschaft eines festeren Tuches. In diesem Zustand lassen sie sich in jede Form bringen. Die in der Wärme gegeben Form wird beim Erkalten beibehalten. Grunert empfiehlt PVC aufgrund seiner guten Modellierbarkeit in der Wärme und großen Festigkeit in der Kälte besonders zur Herstellung von Schienen oder Extensionsbügeln. Zur Anwendung dieses Materials zu zirkulären fixierenden Verbänden berichtet Herrmann, daß dies noch auf technische Schwierigkeit stößt, die in seiner schlechten Verfugungsmöglichkeit begründet sind.

Szulc und Mitarb. (1962) berichten über Schienen aus PVC, die nach einem Gipsguß, der wiederum genau der Form des ruhigzustellenden Gliedes entsprach, geformt und anschließend angelegt wurden.

In seiner Patent-Auslegeschrift aus dem Jahre 1963 beschreibt Kohl einen Streifverband, bei dem durch ein härtbares synthetisches Harz das Verbandmaterial versteift wird. Sein Verbandmaterial ist durch eine innen gepolsterte, dem zu fixierendem Körperteil anliegende Folie gekennzeichnet, der eine mit synthetischem Harz getränkte Trägerschicht aufliegt. Eine mit der inneren Folie verschweißte äußere Schutzfolie bedeckt die Trägerschicht. Das synthetische Harz kann durch Einwirkung der Luft, eines Härtungskatalysators oder durch Erhitzen (etwa 40°C) erhärtet werden.

1966 berichten Reber und Nigst über einen neuen Kontentiv-Verband. Es handelt sich um eine glasfaserverstärkte Epoxidharz-Härter-Kombination, die in Laminiertechnik bearbeitet wird. Auf eine mit Tränkmittel imprägnierte Papierbinde wird ein Isolierschaumstoff (z.B. Polyurethan) aufgebracht und darauf ein grobmaschiges Glasgewebe ausgebreitet. Anschließend wird das Kunstharz mit einem Härter vermischt und mit einem Spatel auf das vorliegende Glasgewebe gestriche. Erst nach Durchmischung des Kunstharzes mit dem Glasgewebe und Bestreuen mit Puder, damit der Verband nicht an den Händen klebt, kann der Verband angelegt werden. Der Isolierschaum schützt die Haut vor der bei der exothermen Reaktion des Aushärtens freiwerdende Wärme. Dieser Verband wurde in über 200 Fällen an der Chirurgischen Universitätsklinik Basel erprobt.

Schirmer entwickelte 1966 ein weiteres Vefahren zur Ruhigstellung von Extremitäten, bei dem Polyurethan-Hartschaum verwendet wird. Ein aus Polyaethylenfolie hergestellter Strumpf wird über die ruhigzustellende Extremität gezogen, die zuvor mit einer Papierbinde umwickelt wird. Zwischen den Strumpf und das Bein

werden Distanzstücke aus einem Schaumblock eingelegt, damit ein gleichmäßiger Zwischenraum entsteht. In diesen Zwischenraum werden mit einer 2-Komponenten-Verschäumungsmaschine der Industrie die Reaktionskomponenten eingebracht. Nach einer Fließzeit von 20 bis 30 Sekunden beginnt das Material aufzuschäumen und schiebt sich in den freien Raum, bis dieser nach einer Minute völlig ausgefüllt ist. Nach 10 Minuten läßt sich der Plastikstrumpf abreißen, nach weiteren 5 Minuten ist der Verband belastungsfähig und erreicht seine endgültige Härte nach ca 24 Stunden.
Der Autor weist darauf hin, daß dieser Verband in seiner Applikationstechnik recht kompliziert und mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden ist.

Im Jahre 1971 stellt Ey einen Verband aus Polyurethanhartschaum zur Gliedmaßenfixation bei Haustieren vor. In einfacher Gießtechnik wird das PU-Reaktionsgemisch wie bei Schirmer in den Raum zwischen zu fixierender Gliedmaße und einem Polyaethylenschlauch eingebracht. Ey benützt jedoch keine Distanzstücke, sondern verteilt die Reaktionsmasse mit der Hand über die gesamten Gliedmaße. Um Hautschäden durch die Reaktionswärme des Polyurethans zu vermeiden, wird eine 1,5 bis 3 cm dicke Verbandswatte zur Isolation der Gliedmaße verwendet. Es wird darauf hingewiesen, daß bei dieser Anwendung von Polyurethan keine Verteuerung gegenüber Gipsbindentechniken eintritt.

Während sich Schirmer und Ey bemühten einen Stützverband aus Polyurethan herzustellen, versuchten Runzheimer und Wilhelm 1974 die Lockerung von Gipsverbänden durch Kunststoffausschäumung zu beheben. Durch ein Plastikeinlaßventil im Gips wird der aufschäumende PU in den zwischen Gipsinnenseite und einer die Haut schützenden Polyaethylenfolie befindlichen Hohlraum eingebracht, um eine durch Weichteilschwund herabgesetzte Immobilisation zu verbessern. Die bei 27 Patienten gewonnenen Erfahrungen sind nach Ansicht des Autors jedoch noch zu gering, um eine abschließende Beurteilung abgeben zu können.

In den letzten Jahren wurde in den USA ein neuer Fiberglasverband entwickelt und 1973 offiziell auch in Kanada eingeführt. Ab September 1974 erfolgte in Deutschland als erstem europäischen Land der Vertrieb. Bei diesem Material (Handelsname Light-Cast, Fa. Sharp&Dohme GmbH, München) handelt es sich um ein Mehrkomponenten-Verbandmaterial: eine grobmaschig gewebte Glasfaser-Binde ist mit einem Kunstharz versetzt und mit einem photosensiblen Härter imprägniert. Die klebrigweichen Binden werden ähnlich einer Gipsbinde zum Verband gewickelt und den Körperformen angepaßt. Beim Anlegen des Fiberglas-Verbandes werden mit Silikonsalbe eingefettete Gummihandschuhe benutzt, da sonst die Kunststoffbinden an den Händen kleben. Die Härtung erfolgt durch Polymerisation im Lichtkasten mittels UV-Bestrahlung mit einer Wellenlänge zwischen 3.500 und 3.900 Angström, wobei einzig die Lichtenergie und nicht die Wärme (maximal 38°C) den entscheidenden Faktor darstellt. Reizung von Haut und Konjunktiven wurden in diesem Wellenbereich nicht beobachtet. Die Aushärtung des Verbandes erfolgt entsprechend der Lagenzahl in 4 bis 6 Minuten. Gelagert werden die Fiberglasbinden in einer licht- und luftdichten Aluminiumverpackung, wobei die einzelnen Bindenlagen durch eine Folie getrennt sind, so daß ein Verkleben des Kunstharzes verhindert wird.
Dieser Fiberglasverband wurde in Deutschland an der Chirurgischen und Orthopädischen Klinik rechts der Isar der Technischen Universität München untersucht.
(Bernett und Mitarb. 1973, 1975, Schnitzler 1974, Hipp und Mitarbeiter 1975)
Auch an dem Chirurgischen Departement der Universität, Kantonspital Basel, wurden Untersuchungen an 117 Patienten durchgeführt (Hell 1974).
Als besondere Vorteile gegenüber anderen Kunststoffverbänden wird von den Autoren die weitgehend herkömmliche Verbandstechnik, beliebig lange Modellierbarkeit und die gute Hautverträglichkeit bei Luftdurchlässigkeit hervorgehoben.

Dieser Verband besitzt jedoch auch eine Reihe von Nachteilen, wobei besonders die hohen Kosten hinsichtlich des Materials und des technischen Aufwandes ins Gewicht fallen. Die Abnahme des Fiberglasverbandes erfolgt mit der oszillierenden Säge, wobei Spezialsägeblätter Verwendung finden sollten, da mit den üblichen Schneideblättern eine erhebliche Hitzeentwicklung auftritt (Hipp und Mitarb. 1974). Es wird deshalb auch die Verwendung von elektrischen Gipsscheren empfohlen. Da die durchtrennten Kanten des Verbandes scharfkantig sind, sollte dies besonders beim Aufbiegen berücksichtigt werden, um Verletzungen der Finger zu vermeiden. Probleme bieten sich bei der Applikation des Fiberglasverbandes bei Kleinkindern im Bereich der Extremitäten. Das Material läßt sich nicht so leicht wie Gips modellieren und die Kinder fürchten sich vor dem Geräusch der oszillierenden Säge während der Abnahme.

Nachteilig erweist sich auch die rauhe Oberfläche des Verbandes. Es wird daher empfohlen, einen Trikotstrumpf darüberzuziehen, da es sonst zu Beschädigungen von Kleidern oder Wäsche und zu oberflächlichen Hautabschürfungen kommen kann. Wegen der Härte des Verbandes ist eine gute Polsterung, besonders der Abschlüsse mit Umstülpen des überragenden Trikotschlauches notwendig, um die Weichteile zu schonen.

Die röntgenologische Darstellung des Knochens wird durch die Gitterstrukturen der Binden erschwert. Sie läßt die Knochenstrukturen und Achsenfehlstellungen von Frakturen noch ausreichend beurteilen, Feinstrukturen sind jedoch nur noch bedingt zu unterscheiden.
Belichtungszeiten und KV-Zahlen sind beim Fiberglasverband die gleichen wie bei der normalen Knochentechnik. Gewisse Probleme birgt das Anbringen eines Gehabsatzes in sich, so daß Hipp und Schnitzler (1975) Gehschuhe bevorzugten. Zu einem geringen Prozentsatz wurde der Geruch des Verbandes als störend empfunden, bis dieser nach 36 Stunden verschwunden ist.

In der Gesamtbeurteilung empfehlen Hipp und Schnitzler (1975) den Fiberglasverband auf folgende Anwendungsmöglichkeiten zu beschränken: langliegende Verbände an der Hand (Naviculare-Frakturen) und auch an der unteren Extremität, am Rumpf, infizierte Frakturen, bei konservativ zu behandelnden Mehrfachverletzungen und bei älteren Patienten.

2. Problemstellung

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Versuche mit dem Ziel unternommen, die Nachteile des herkömmlichen Gipsverbandes, wie großes Gewicht, Wasserlöslichkeit und nicht sofortige Belastbarkeit, durch Verwendung geeigneter Kunststoffe zu umgehen. Alle neuentwickelten Stützverbände müssen jedoch auch in Bezug auf die Vorteile des Gipsverbandes, wie einfache Handhabung, gute Hautverträglichkeit und geringen Kostenaufwand mit diesem verglichen werden. Die bisherigen Verfahren, Gips durch Kunststoff zu ersetzen, haben neben ihren Vorteilen wesentliche Nachteile: schwierige technische Handhabung und hohen Kostenaufwand. So ist es auch zu erklären, daß die meisten in der Literatur beschriebenen Kunststoffverbände nie auf dem Markt erschienen oder bald darauf wieder verschwunden sind.

Bei den Kunststoffen besitzt Polyurethan durch die Vielfalt der Kombinationsmöglichkeiten, d.h. den gezielten Aufbau von Schaumstoffen mit bestimmten Eigenschaften, einen besonderen Vorteil. Die bisherigen Versuche Polyurethan als Gipsersatz in der Medizin einzuführen (Hoppe 1951, Gehrke 1955, Schirmer 1966, Ey 1971) scheiterten jedoch daran, daß zum einen kein Polyurethan einer geeigneten Rezeptur und zum anderen keine praktikable Applikationstechnik gefunden werden konnte. Es stellte sich daher für uns die Aufgabe, in Zusammenarbeit mit der Industrie,ein speziell für medizinische Zwecke geeignetes Polyurethan zu schaffen und eine einfache Anwendungstechnik zu entwickeln.

B. Technische Entwicklung

Unter Polyurethanen versteht man Hochpolymere, welche die Urethangruppe -O-CO-NH- als charakteristische, kettenverknüpfende Gruppe enthalten. Die Herstellung beruht auf dem seit ca. 40 Jahren bekannten Diisocyanat-Polyadditionsverfahren. Mit Hilfe der quantitativ und exotherm verlaufenden Additionsreaktion von Hydroxylgruppen an Isocyanatgruppen unter Wasserstoffverschiebung erhält man dabei aus Polyolen und Diisocyanaten hochmolekulare Polyurethane. Im einfachsten Fall der Polyaddition symmetrischer langkettiger Glykole an äquimolare Mengen symmetrischer Diisocyanate entstehen lineare Polyurethane. In gleicher Weise führen Polyhydroxylverbindungen mit mehr als zwei Hydroxylgruppen zu vernetzten Makromolekülen. Diese Hydroxyl-Isocyanat-Reaktion bezeichnet man daher auch als Vernetzungsreaktion (Abb. 1). Je nach Kettenlänge zwischen den Vernetzungsstellen erhält man harte, spröde oder weiche, elastische Stoffe. Unter Anwendung von Treibmitteln, wie z.B. Wasser, entstehen analog Schaumstoffe. Wichtig ist, daß man den Polyurethanschaum durch Abwandlung der Rezeptur mit verschiedener Festigkeit und Zellstruktur herstellen kann. Bei der chemischen Reaktion wird durch Umsetzung von Wasser und Isocyanat CO_2 als Treibgas frei Rohstoffe, evtl. Treibmittel und Additive werden zur Vereinfachung der Verarbeitung von Polyurethan-System-Herstellern in Form von zwei Komponenten geliefert. Die Komponente A enthält bevorzugt Polyäther- oder Polyesterpolyole. Die Komponente B enthält Poly-Isocyanate.

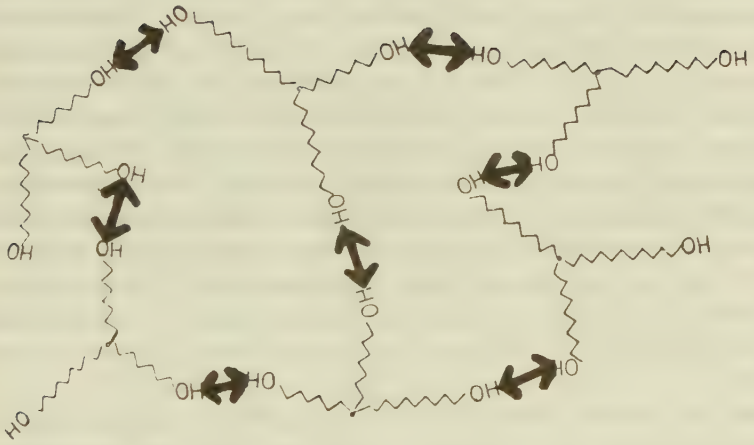

Abb. 1: Vernetzungsschema von Diisocyanat (⟷) mit trifunktionellem Polyol (HO⌒⌒OH)
                                                                                    |
                                                                                    OH

Zur Herstellung der Stützverbände, bisher an 1007 Patienten erprobt, benutzen wir eine Polyurethan-Hartschaummasse[+], die durch Verrühren der zwei Komponenten A und B im Verhältnis 1 : 1 entsteht. Als ein wesentliches Problem erwies sich, die Rezeptur so zu gestalten, daß bei dem exothermen Reaktionsablauf an der Oberfläche des Verbandes eine Maximaltemperatur von 50°C nicht überschritten wird. Durch die Einstellung der Reaktionszeiten mußte eine gute Verarbeitbarkeit gewährleistet werden. Wir unterscheiden die Verarbeitungsphase (Zeit des Anmodellierens) und die Durchhärtungsphase (Zeit bis zur Belastbarkeit). Es erschien uns zweckmäßig, zwei verschiedene Systeme zur Verfügung zu haben: PUR I für die Anfertigung von kleinen Verbänden, z.B. Schienen an den Extremitäten, hat eine Verarbeitungsphase von etwa 60 Sekunden und eine Durchhärtungsphase bis zur Belastbarkeit von knapp 30 Minuten, und PUR II mit größerer Härte und Festigkeit für große Verbände, wie Oberarmabduktionsschienen, Liegeschalen und Korsetts mit einer Verarbeitungszeit von 95 Sekunden und einer Durchhärtungsphase von 45 Minuten. Bei beiden Systemen sind in den ersten Minuten nach Verbandsanlage Korrekturen durch Biegen oder Beschneiden mit dem Skalpell möglich.

Nachdem die beiden PUR-Systeme im wesentlichen unserer Vorstellung entsprachen, richtete sich unser Bestreben auf eine möglichst unkomplizierte, sichere Verarbeitungstechnik, da das in der Verarbeitungsphase zähflüssige Polyurethan ohne Hilfsmittel nicht als Verband geeignet ist.

Nach zahlreichen Detailuntersuchungen hat sich die Verarbeitung in Baumwollstrümpfen[++] mit verschiedenen Durchmessern

---

[+]Die Entwicklung erfolgte durch die Elastogran, Polyurethan-Gruppe der BASF in 2844 Lemförde.

[++]Tubigrip, eingetragenes Warenzeichen der Firma Seton, Oldham, England. Vertrieb in Westdeutschland F. und W. Schumacher Krefeld.

und hoher Querelastizität am besten bewährt. Der Strumpf zeichnet sich dadurch aus, daß er durch eine besondere Wirkart selbst bei großer Dehnung die Maschenweite nur mäßig verändert. Durch vorheriges Kochen der Strümpfe wird die Naturbaumwolle entfettet und bindet danach eine geringe Menge Wasser aus der Luftfeuchtigkeit. Das reaktive Polyurethangemisch aus den Komponenten A und B wird in den Strumpf eingefüllt und auf die gewünschte Schichtstärke ausgewalzt. Die geringe Feuchtigkeit im Strumpf bringt das Gemisch an der Oberfläche zusätzlich zum Aufschäumen. Es bildet sich eine 1 - 2 mm starke Schaumschicht, die eine Polsterung überflüssig macht und gleichzeitig das Durchtreten des Kunststoffes durch die Maschen des Strumpfes verhindert. (Abb. 2). Im Inneren des Verbandes bilden die reaktiven Komponenten einen weniger aufgeschäumten harten Kern, der dem Stützverband die Festigkeit verleiht. Es handelt sich hier also um eine Umkehrung des in der Industrie bekannten Verfahrens, bei dem ein außen harter und innen weicher Kunststoff als sogenannter "Integralschaum" verwendet wird.

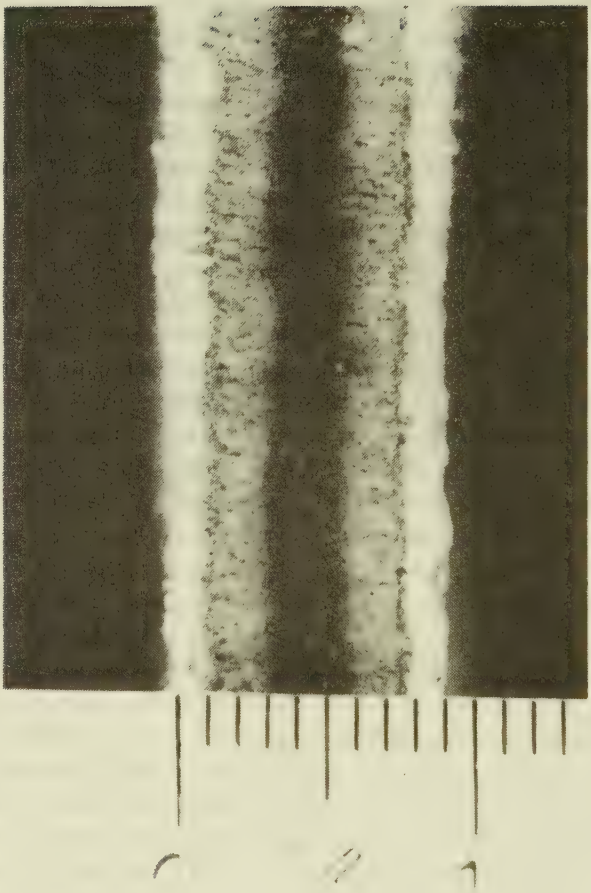

Abb. 2 : Querschnitt einer PUR-Schiene (Maßstab unten). Die 3 mm starke, stabile Innenzone ist intensiv dunkel gefärbt und geht in den Randzonen in die helleren Polsterzonen über. Außen schließt sich das 1 mm starke Strumpfgewebe an.

C. Physikalische Untersuchungen

Es wurden Untersuchungen der Polyurethan-Hartschaumsysteme PUR I und PUR II sowie zweier Gipsverbände durchgeführt. Für die untersuchten Gipsverbände wurde einmal eine einfache Gipsbinde zum anderen eine Schnellgipsbinde verwendet.[+]

1. Gewicht:

Die Raumgewichte (RG) der PUR-Systeme I und II wurden mit Raumgewichten ausgehärteter, handelsüblicher Gips- und Schnellgipsbinden verglichen:

Gipsbinde	RG	1100 kp / m^3
Schnellgipsbinde	RG	1000 kp / m^3
PUR I (mit Textilstrumpf)	RG	350 kp / m^3
PUR II(mit Textilstrumpf)	RG	400 kp / m^3

Die Messung erfolgte in Anlehnung an DIN 53420.

2. Festigkeit:

Um verleichende Unterlagen über die Belastbarkeit von PUR I und II im Vergleich zu Gips zu erhalten, wurden Festigkeitsprüfungen durchgeführt.

a) Biegefestigkeit:

Untersucht wurden Prüfschienen einer Gipsbinde und einer Schnellgipsbinde, sowie der PUR-Systeme I und II gleicher Stärke. Die Messung erfolgte in Anlehnung an DIN 53452. Es ergaben sich folgende Werte nach 100 Stunden Lagerung (Angaben nach dem ersten Bruch):

Gipsbinde	4,4 kp cm^{-2}
Schnellgipsbinde	3,9 kp cm^{-2}
PUR I (mit Textilstrumpf)	5,8 kp cm^{-2}
PUR II(mit Textilstrumpf)	11,3 kp cm^{-2}

(jeweils Mittelwert aus 5 Messungen)

[+]Die physikalischen Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der technischen Abteilung der Elastogran, Polyurethan-Gruppe der BASF in 2844 Lemförde durchgeführt.

In Abbildung 3 sind die ermittelten Werte graphisch dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt die Werte nach dem ersten Bruch an. Die relativ lang verlaufende Bruchphase der Gipsschiene im Gegensatz zur PUR I und II erklärt sich aus den schrittweise auftretenden Geweberissen, der in den Einzellagen vorhandenen Mullbinden, die als Zuggurtung wirken. Es zeigt sich, daß beide PUR-Systeme eine wesentlich größere Biegefestigkeit als Gipsschienen besitzen. So übertrifft die Festigkeit von PUR II diejenige eines aus einer Schnellgipsbinde hergestellten Verbandes um ca. das Dreifache.

b) Einfluß von Feuchtigkeit auf die Biegefestigkeit:
Es wurden zu diesem Zweck Prüfkörper aus Gips 24 Stunden bei 50°C im Wasser gelagert. Bei den Gipsverbänden ist ein Abfall in der Biegefestigkeit von etwa 10 v.H. meßbar.
Die PUR-Verbände haben keinen meßbaren Abfall.

c) Biegefestigkeit und Durchbiegung
in Abhängigkeit von der Probenstärke:
Es wurden Prüfkörper aus PUR I, PUR II und einer Schnellgipsbinde mit einer Probestärke von 4 - 16 mm hergestellt und die Biegefestigkeit bestimmt. Die ermittelten Werte sind in Abbildung 4 graphisch dargestellt.
Es zeigt sich, daß in dem klinisch relevanten Bereich von 4 - 12 mm PUR I um ca. das Zweifache, PUR II um fast das Dreifache die Biegefestigkeit der Schnellgipsbinde übertrifft.
In diesem Versuch wurde auch die Durchbiegung in Abhängigkeit von der Probenstärke bestimmt. Die Werte sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt. Bis zu einer Probenstärke von ca. 6 mm ist die Durchbiegung der Schnellgipsbinde größer und erst ab ca. 12 mm unterschreitet sie die der beiden PUR-Systeme.

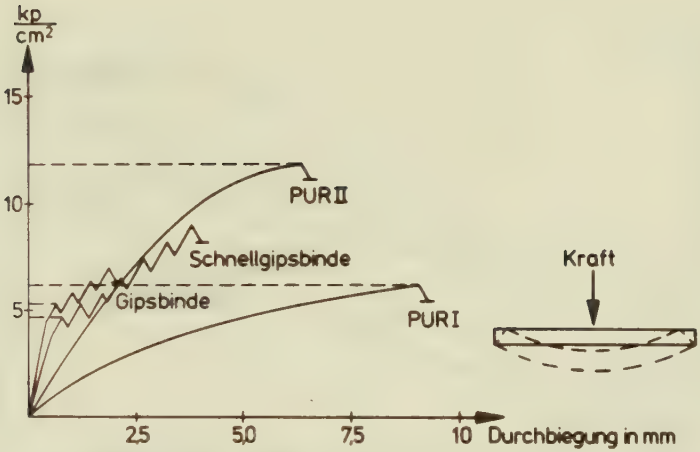

Abb. 3: Biegefestigkeit von PUR I, PUR II, einer Gipsschiene und einer Schnellgipsschiene.
Bestimmungen in Anlehnung an DIN 53 452. Mittelwerte aus je 5 Messungen nach 100 Stunden Lagerung der Proben.

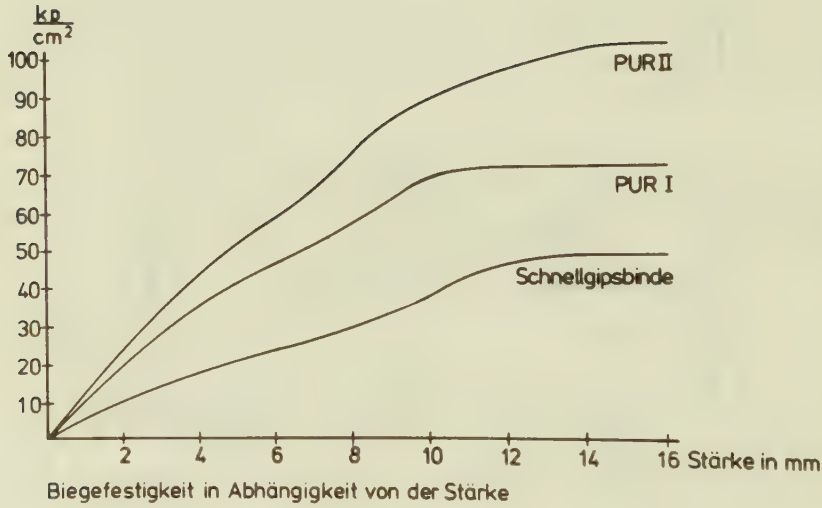

Abb. 4: Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Probenstärke einer Schnellgipsbinde, PUR I und PUR II.

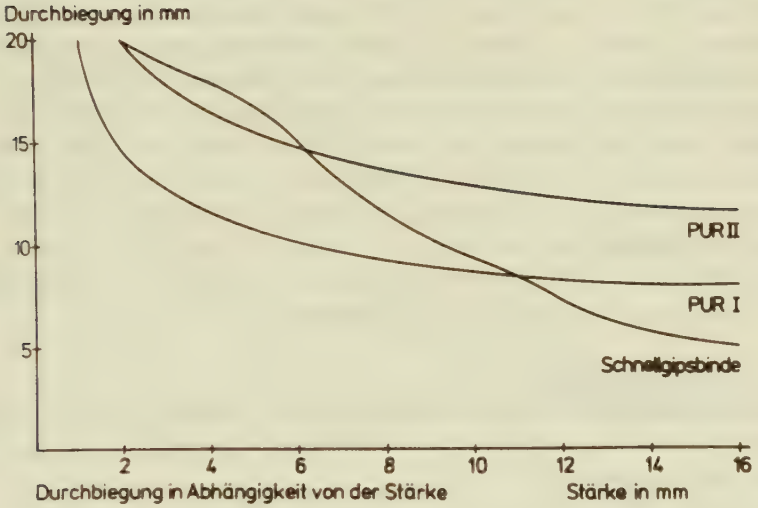

Abb. 5: Durchbiegung in Abhängigkeit von der Probenstärke einer Schnellgipsbinde, PUR I und PUR II.

d) Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Aushärtungszeit:

Die Biegefestigkeit von PUR-Prüfkörpern mit einer Probenstärke von 7 mm wurde nach verschieden langen Aushärtungszeiten bestimmt:

Es ergaben sich nach 5 Stunden folgende Werte:

PUR I (mit Textilstrumpf)	69 kp cm^{-2}
PUR II(mit Textilstrumpf)	79 kp cm^{-2}

In Abbildung 6 erfolgt die graphische Darstellung der Werte für die PUR-Systeme I und II. Um einen Vergleich zu Gipsverbandsmaterial ziehen zu können, wurden Prüfkörper aus Schnellgipsbinden mit einer Probestärke von 12 mm hergestellt und die Biegefestigkeit nach 24 Stunden mit 45 kp cm^{-2} bestimmt. Es zeigt sich, daß dieser Wert von PUR I bereits nach ca. 20 Minuten, von PUR II nach ca. 30 Minuten erreicht wird. PUR I besitzt seine Endhärte nach ca. 1 Stunde, PUR II nach ca. 3 - 4 Stunden, wobei die Endhärte von PUR II um ca. 15 v.H. über der von PUR I liegt. PUR-Stützverbände sind schon ca. 30 bzw. 45 Minuten nach Fertigstellung belastbar.

e) Druckfestigkeit:

Die vergleichende Druckfestigkeitsprüfung wurde in Anlehnung an DIN 53421 ab stabförmigen Prüfkörpern aus PUR I und aus Gipsbinden vorgenommen.

Es ergaben sich folgende Werte nach 100 Stunden Lagerung:

Gipsbinde	25 kp cm^{-2}
PUR I (mit Textilstrumpf)	30 kp cm^{-2}

Die ermittelten Werte sind in Abbildung 7 graphisch dargestellt. Die Druckfestigkeit von PUR I übertrifft die einer Schnellgipsbinde um ca. 20 v.H.

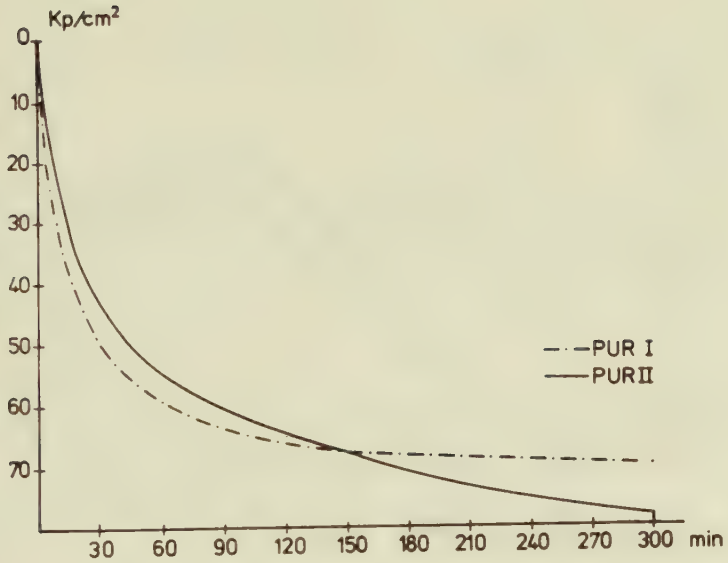

Abb. 6: Biegefestigkeit von PUR I und PUR II in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit.

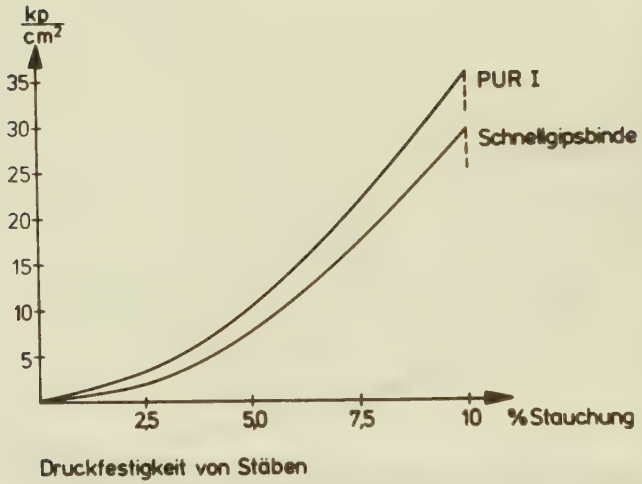

Abb. 7: Druckfestigkeit von Stäben aus PUR I und einer Schnellgipsbinde.

Zusätzlich wurde die Druckfestigkeit von Halbschalen bestimmt, da Prüfkörper in dieser Form den in der Klinik angelegten Arm- bzw. Beinschienen eher entsprechen. Es wurden zu diesem Zweck Verbände aus PUR und Gips gleicher Dicke (7 - 9 mm) um ein Rohr gelegt und zur Messung 25 mm breite Halbschalen entnommen. Nach 100 Stunden Lagerung ergaben sich folgende Werte:

Gipsbinde	7,8 kp cm^{-2}
Schnellgipsbinde	11,6 kp cm^{-2}
PUR I (mit Textilstrumpf)	13,8 kp cm^{-2}

Abbildung 8 zeigt die graphische Darstellung.
Die Druckfestigkeit einer PUR-Halbschale ist um etwa 20 v.H. größer als die einer Halbschale aus Schnellgipsbinden bzw. 77 v.H. größer als die einer aus normalen Gipsbinden gefertigten Halbschale.

f) Zugfestigkeit:

Die Zugfestigkeit wurde an Prüfkörpern mit einer Probendicke von 10 mm (PUR I und PUR II) bzw. 12 mm (Schnellgipsbinde) durchgeführt.
Es ergaben sich nach 100 Stunden Lagerung folgende Werte:

PUR I	45 kp cm^{-2} bei 2% Dehnung
PUR II	42 kp cm^{-2} bei 2% Dehnung
Schnellgipsbinde	15 kp cm^{-2} bei 1% Dehnung

Die ermittelten Werte sind in Abbildung 9 in Form eines Spannungs-Dehnungs-Diagramm graphisch dargestellt.
Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm läßt neben der Bestimmung der Zugfestigkeit auch eine Aussage über die Elastizität und das Bruchverhalten zu. Es handelt sich bei dem PUR-Material um einen harten Werkstoff mit sprödem Bruchverhalten, während das Schnellgipsbinden-Material als weicher Werkstoff mit ebenfalls sprödem Bruchverhalten zu bezeichnen ist. Hinsichtlich des elastisch-plastischen Verhaltens beider Werkstoffe ist der elastische Anteil bei dem PUR-Material wesentlich größer als bei dem Schnellgipsbinden-Material.

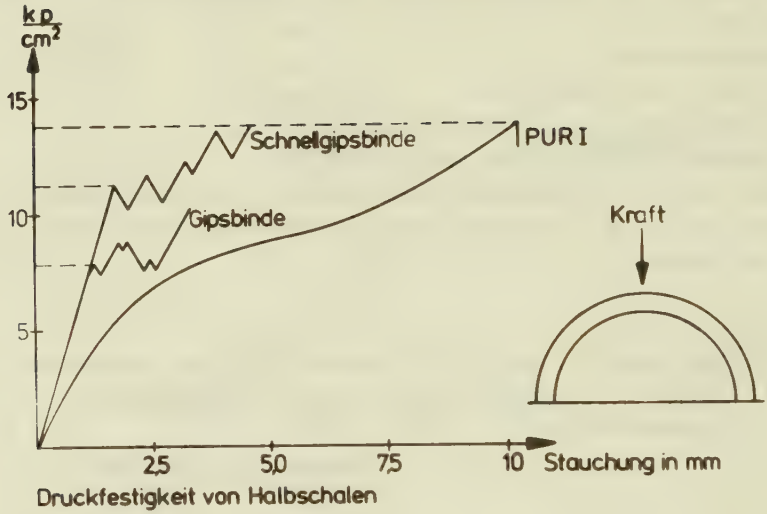

Abb. 8: Druckfestigkeit von Halbschalen aus PUR I, Gipsbinden und Schnellgipsbinden.

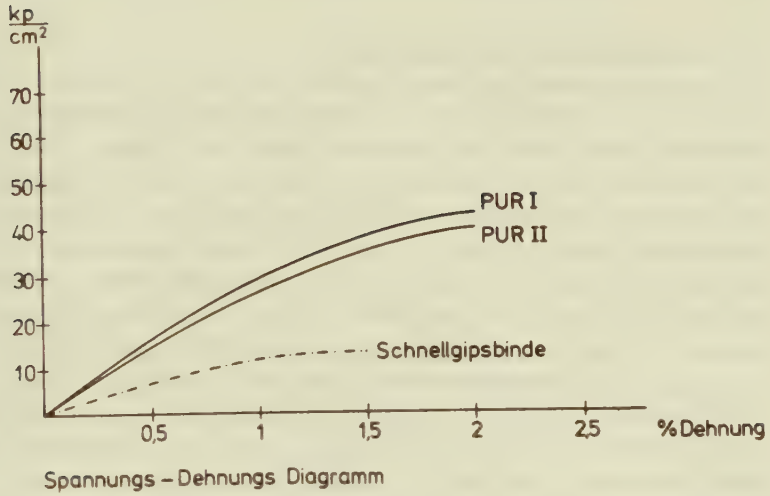

Abb. 9: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Gipsschnellbinde, PUR I und PUR II.

3. Temperaturverhalten:

Es wurden Temperaturmessungen zwischen Haut und PUR-Verband ohne weitere Isolation oder Polsterung durchgeführt. Bei allen Messungen mit den Systemen PUR I und PUR II wurden Temperaturen von 50°C nicht überschritten. Abbildung 10 zeigt einen typischen Temperaturverlauf in den ersten 20 Minuten nach Anlegen des Verbandes beim PUR I-System.

4. Röntgenologische Untersuchungen:

Die vergleichenden röntgenologischen Untersuchungen von Polyurethan und herkömmlichen Gipsverbänden zeigen, daß die Strahlendurchlässigkeit von PUR-Verbänden wesentlich besser ist. Das war auch zu erwarten, da es sich bei Polyurethan um einen Stoff mit geringem spezifischen Gewicht handelt: bei konstanter Wellenlänge und Schichtdicke ist die Strahlenabsorption eines Stoffes abhängig vom Raumgewicht und der chemischen Zusammensetzung bzw. der Größe der Ordnungszahl der Elemente im periodischen System. Zum Nachweis der Röntgenstrahlenabsorption von PUR wurde eine Filmschwärzungskurve erstellt+ (Abb. 11): Auf einen handelsüblichen Film wurde eine Röntgenbelichtungstreppe, bestehend aus 13 Alustufen, gelegt und mit einer Röntgenstrahlung von 50 KV / 20 mAs belichtet. Die Helligkeitsunterschiede der abgebildeten Stufen wurden mit dem Photometer bestimmt und graphisch dargestellt. Die Kurve umfaßt den Bereich vom Grauschleier des Films bis zu seiner noch meßbaren Schwärze. Mit der gleichen Anordnung wurden Polyurethan (10 mm Schichtdicke) und Gips (10 mm Schichtdicke) ausgemessen. Es zeigt sich, daß im diagnostischen Bereich von 1,5 - 2 Schwärzungsgraden Polyurethan 50 v.H. weniger Röntgenstrahlen absorbiert als ein Gipsverband. Nach der Siemens-Röntgenbelichtungstabelle ergibt sich gegenüber Gips für PUR eine Verringerung der Belichtung um 2 - 3 Punkte, was auch mit unseren praktischen Erfahrungen übereinstimmt.

+Die Untersuchungen wurden durchgeführt in Zusammenarbeit mit Herrn D. Baier, Siemens-AG Ing.-Büro Essen.

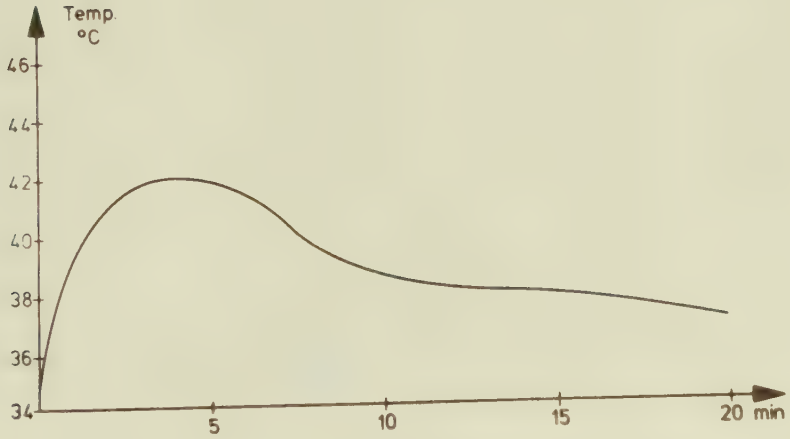

Abb. 10: Temperaturmessungen zwischen Haut und PUR-Unterarmschiene. Maximale Temperatur nach 4 Minuten 42°C. Die Messungen erfoloten mit der Thermomeßsonde der Firma MELA, Gerätetyp P.M.

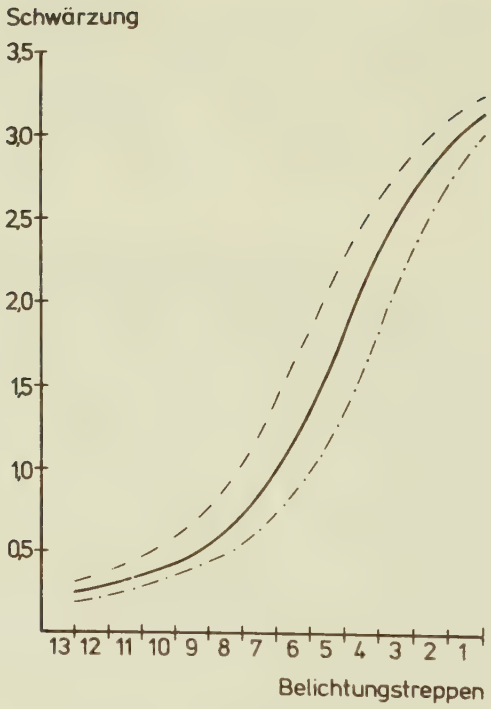

Abb. 11: Schwärzungskurven von Luft (- - -)
PUR (————) und Gips (-·-·-·-·-).
Aufnahmedaten: 50 KV/20 mAs auf handelsüblichem Folienfilm. Diagnostischer Bereich zwischen Schwärzung 1,5 und 2.

Bei einem frisch angelegten Gipsverband ist die Röntgenstrahlensorption noch größer. Der Kunststoffverband dagegen besitzt seine günstigen radiologischen Eigenschaften sofort nach Anfertigung. Neben der geringen Strahlenbelastung und der Möglichkeit der sofortigen Beurteilung einer Fraktur im PUR-Verband erweist es sich als besonders vorteilhaft, daß der Kunststoffverband infolge seiner Feinporigkeit radiologisch völlig homogen erscheint. (Abb. 12). Der Gipsverband läßt selbst in getrocknetem Zustand durch seine wolkigen oder der Fiberglasverband durch seine groben Gitterfaserstrukturen Feinheiten wie Knochenheilung im Frakturbereich nicht sicher erkennen (Abb. 13).
Bei der Bildung von Polyurethan kann die Reaktionsgeschwindigkeit wie bei anderen Kunststoffen durch energiereiche Strahlen wie Röntgenstrahlen oder ultraviolettes Licht beschleunigt werden. Dadurch können Verarbeitungs- oder Aushärtungszeit verkürzt werden, der exotherme Vorgang kann höhere Temperaturen erreichen. Nach unseren Untersuchungen reicht jedoch die Strahlenintensität eines Bildumwandlers im direkten Strahlengang unter den extremen Bedingungen von 90 KV - 3 mAs - 5 min nicht aus, um Verarbeitungszeit und Wärmeentwicklung störend zu beeinflussen. Es ist bekannt, daß auch die Biegefestigkeit von Kunststoffen durch Röntgenstrahlen verändert werden kann. Bei den von uns verwendeten Polyurethanen wird die Biegefestigkeit durch Einwirkung von 500 r auf PUR-Prüfstäbe nicht meßbar beeinträchtigt.

5. Wasserdampfdurchlässigkeit:

Unsere PUR-Systeme mit Tubigrip-Strumpf sind wasserdampfdurchlässig, da die Oberfläche des Kunststoffes durch die stärkere Aufschäumung zellular und damit durchlässiger wird. Ein im Vergleich zu Gips vermehrtes Schwitzen unter dem PUR-Verband konnte nicht beobachtet werden. Die Wasserdurchlässigkeit ließe sich durch Abwandlung der Rezeptur steigern, wobei jedoch auch die Wasserspeicherung zunehmen würde. Unser PUR-System ist so eingestellt, daß sich bei Lagerung im Wasser das Verbandsgewicht nur bis zu 2 v.H. erhöht.

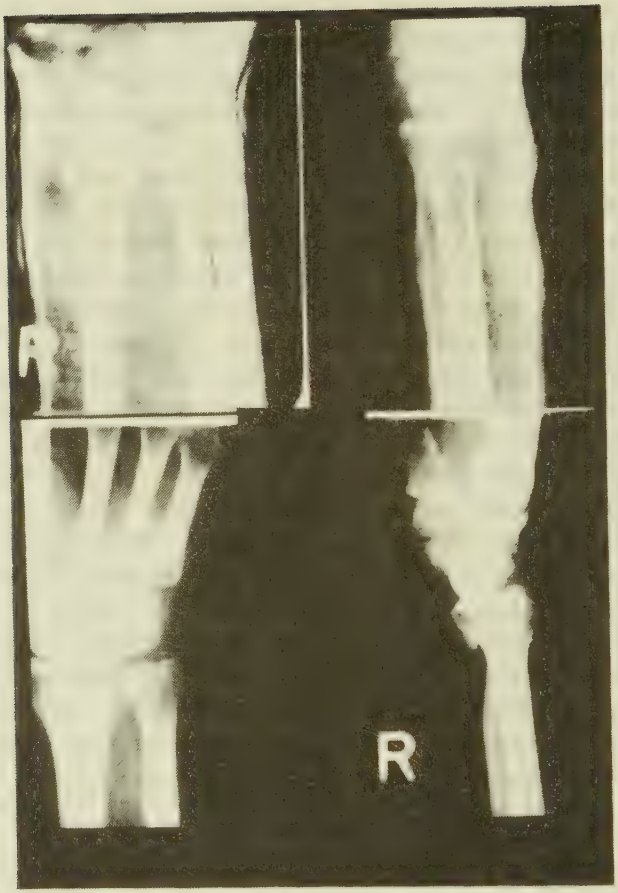

Abb. 12: Röntgenaufnahmen einer auswärts vor 14 Tagen mit Gipsschiene versorgten, handgelenksnahen Radiusfraktur, darunter Aufnahmen nach Anlegen einer PUR-Unterarmschiene. Belichtung mit Rubinfolie auf handelsüblichem Film. Aufnahmedaten Gips: a.p. 52 KV 12 mAs, seitlich 55 KV 20 mAs. PUR: a.p. 50 KV 8 mAs, seitlich 52 KV 10 mAs.

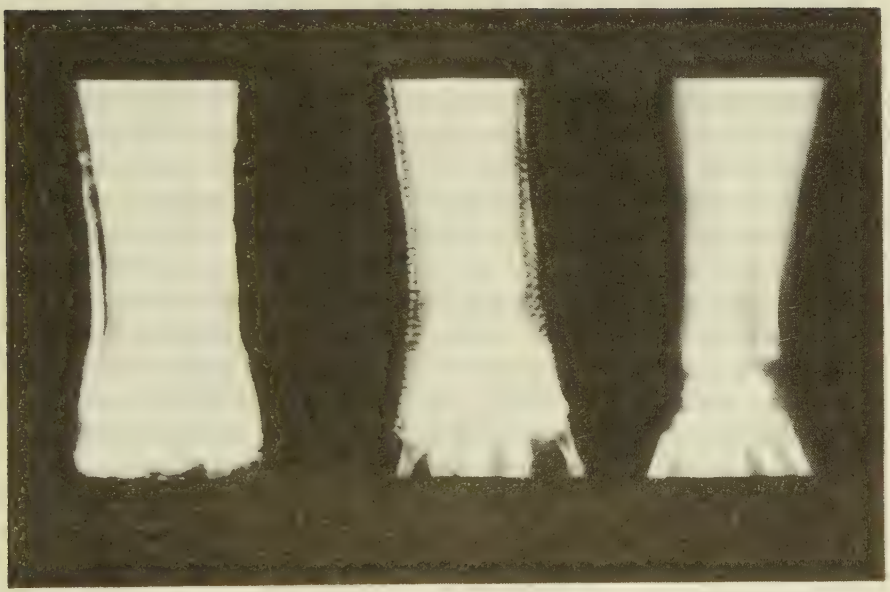

Abb. 13: a.p. Aufnahme eines Handgelenkes mit Unterarmanteil, Ruhigstellung durch Gips (links) Fiberglas (Mitte) sowie PUR (rechts). Belichtungen auf handelsüblichem Film mit Rubinfolie. Gips: 52 KV 12 mAs, Fiberglas: 50 KV 8 mAs, PUR: 50 KV 8 mAs.

D. Methode

1. Herstellung der Verbände:

Zur Anfertigung von Schienenverbänden werden Tubigrip-Strümpfe der Größe G 4 - Breite 5,5 cm, Größe G 5 - Breite 9,0 cm und Größe 6 - Breite 10,5 cm benutzt. Diese werden auf die erforderliche Länge gekürzt und einseitig mit einem Pflasterstreifen verschlossen, während das andere Ende zum Einfüllen der Kunststoffmasse offenbleibt. Die beiden Komponenten A und B werden im Verhältnis 1 : 1 in einem Becher mit einem schnelldrehenden Rührer (1700 Umdrehungen/min) 10 Sekunden (PUR I) bzw. 20 Sekunden (PUR II) gut vermischt. Danach wird die flüssige Masse sofort in den Strumpf eingefüllt und mit einer gewöhnlichen Tapezierrolle auf 4 mm bei Schienenverbänden bzw. auf 6 mm Stärke bei Großverbänden ausgerollt. Die "PUR-Longuette" wird der ruhigzustellenden Extremität entsprechend herkömmlicher Gipstechnik angelegt und mit Binden angewickelt. Korrekturen durch Umbiegen und Beschneiden mit dem Skalpell sind in den ersten Minuten leicht möglich. Für zirkuläre PUR-Verbände werden zwei einseitig geschlossene Strümpfe durch zwei 1 cm breite, unelastische Stoffstreifen (Köperband) in Längsrichtung so aneinandergenäht, daß zwei einander gegenüberliegende Strumpfkammern entstehen. Nach dem Einfüllen und Ausrollen der PUR-Masse wird der "Doppelkammerstrumpf" über die zu fixierende Extremität gezogen und kann nun aushärten. Bei der Herstellung von Tutoren wird an Stelle eines der Stoffstreifen ein Plastikreißverschluß eingenäht, der ein problemloses Öffnen der Hülse gestattet. Zur Entfernung zirkulärer Verbände kann entweder einer der Stoffstreifen mit der Verbandsschere aufgeschnitten oder aber die PUR-Masse selbst mit der üblichen oszillierenden Gipssäge aufgetrennt werden.

Bei der Herstellung von Abduktionsschienen wird zuerst die breite Rumpfauflage aus einem extra breiten Tubigrip-Strumpf Größe G 10 -Breite 28 cm fertiggestellt. Ventral reicht die Schiene bis zur Medio-Clavicularlinie, dorsal bis zur Medio-Scapularlinie. In einem weiteren Schritt wird aus einem schmalen Tubigrip-Strumpf (G 4) ein gepolsterter Bügel über der Schulter an-

gefertigt und durch aufgespachtelte PUR-Masse mit dem Rumpfteil verbunden. In gleicher Weise wird die Stützschiene für den Arm (Tubigrip G 5 - G 6) am Rumpfteil befestigt, wobei ein nachträglich eingesetzter Wantenspanner zusätzlichen Halt verleiht und Verstellung des Abduktionswinkels des Oberarmes erlaubt. Als letzter Schritt wird die Begurtung der Abduktionsschiene angefügt. Zu diesem Zwecke werden Pelottenknöpfe aus Messing in den ausgehärteten Schaumstoff nach Vorbohren eingeschraubt.
Bei Rumpfliegeschalen werden Tubigrip-Strümpfe in der Größe G 10 benutzt. Die Rückenpartie des Patienten wird mit einer 1,5 - 2 cm dicken Schaumgummiplatte abgedeckt, über diese wird der PUR-gefüllte Strumpf angelegt und faltenlos angepaßt. Zur Verstärkung können die üblichen PUR-Longuetten von außen mit PUR-Masse aufgeklebt werden. Zur Herstellung von Rumpfkorsetts werden zwei einseitig aneinandergenähte Tubigrip-Strümpfe (G 10) verwendet, die auf der Gegenseite durch Klettenverschlüsse riegelartig miteinander fixiert werden.
In den Tabellen 1 und 2 ist der Materialbedarf für die Anfertigung der verschiedenen PUR-Stützverbände aufgeführt.

Schienenverbände	Strumpfbreite (Tubigrip)	Länge	PUR-System	Gewicht-Einfüllmasse
Finger/ Hand	5,5cm (G4)	30 cm	PUR I	100g
Unterarm	10,5cm (G6)	40 cm	PUR I	120 – 150g
Oberarm	10,5cm (G6)	60 – 70cm	PUR I	250g
Unterschenkel	10,5cm (G6)	80 – 90cm	PUR II	400g
Oberschenkel	10,5cm (G6)	110 – 140cm	PUR II	600g
Zirkuläre Verbände				
Tutor	10,5cm x 16,0cm (G6+7) Köperband, Reißverschluß	70 – 80cm	PUR II	700 – 900g
Unterschenkel	2 x 10,5cm (G6) Köperband, PUR-Gehklotz	80 – 90cm	PUR II	500 – 600g
Unterarm	2 x 9,0cm (G5) Köperband	40cm	PUR II	300g

Tab.1: Materialbedarf für Schienen und zirkuläre PUR-Verbände.

Art des Verbandes	Strumpfbreite (Tubigrip)	Länge	PUR-System	Gewicht-Einfüllmasse
Liegeschale	28,0cm (G 10)	100 cm	PUR II	1200 –1500g
	zur Stabilisierung			
	2×10,5 cm (G 6)	60 cm		je 250g
	1×16,0 cm (G 7)	50 cm		250g
	Einkleben des Schaumgummis			150g
	zur Polsterung			
Korsett	2×28,0 cm (G 10)	60 cm	PUR II	1000g
	4 Klettenverschlüsse			
	5 cm breit, 15 cm lang			
Abduktionsschiene	28,0cm (G 10)	60 cm	PUR II	500 – 600g
	10,5cm (G 6) Armstütze	100 – 110 cm		300 – 350g
	5,5cm (G 4) Schultergurt	40 – 50 cm		120g
	1 Wantenspanner,			
	4 Messingnocken,			
	2 Gummigurte			

Tab. 2: Materialbedarf für PUR-Großverbände.

2. Sicherheitsmaßnahmen

Bei dem Umgang mit Kunststoff-Systemen, insbesondere auf dem medizinischen Sektor, ist die Frage der Gefährdung der Patienten und des technischen Personals von außerordentlicher Wichtigkeit.
Bei der von der Industrie verwandten Komponente B (Toleuylendiisocyanat = T D I) sind besondere Maßnahmen wie direkte Luftabsaugung usw. erforderlich. Der Dampfdruck unserer Komponente B (Diphenylmethandiisocyanat = MDI) ist um ca. 10^3 mbar niedriger als der von T D I. Unsere Komponente B wird erst ab ca. 120°C flüchtig (Abb. 14), so daß mit einer Beeinträchtigung oder Aufnahme über die Atmungsorgane nicht zu rechnen ist. Die normale Frischluftzufuhr ist ausreichend.
Gelegentliche Spritzer der Einzelkomponenten A und B auf der Haut sind ungefährlich, wenn sie mit Wasser und Seife gut abgewaschen werden. In das Auge gelangte Spritzer der beiden Komponenten sind mit 1,3%iger Kochsalzlösung auszuspülen. Die Bereitstellung einer Augenwaschlösung aus 1,3%iger Kochsalzlösung wird empfohlen. Verunreinigungen der Haut mit ausreagiertem Polyurethan können mit hochprozentigem Alkohol (nicht pyridinvergällt) oder Trichloraethylen leicht entfernt werden.

Ausreagiertes PUR-Material ist gesundheitlich unbedenklich und kann in den klinikublichen Verbrennungsöfen vernichtet oder auf jeder Mülldeponie gelagert werden.

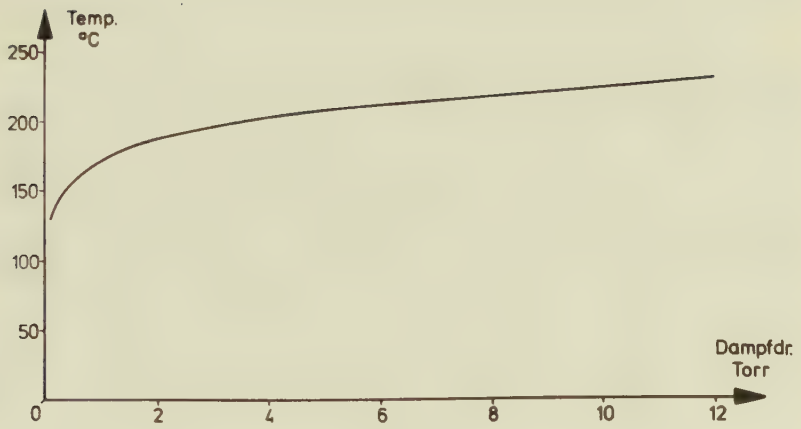

Abb. 14: Dampfdruckkurve des Isocyanates (Komponente B).

E. Klinische Ergebnisse

Innerhalb eines Jahres (August 1974 - Juli 1975) wurden 1007 Fixationsverbände aus Polyurethan angewandt. Zur Auswertung wurden die Verbände in drei Gruppen zusammengefaßt: Schienenverbände, zirkuläre Verbände sowie Abduktionsverbände, Schalen und Korsetts.

1. PUR-Schienenverbände (Tab. 3):

In 833 Fällen wurden Polyurethan-Schienenverbände angelegt. Dabei handelt es sich in 545 Fällen um eine Erstversorgung und in 288 Fällen um eine Zweitversorgung, d.h. es war eine Behandlung mit Gipsschienen oder Kramerschienen vorausgegangen. Fingerhandschienen kamen in 198 Fällen zur Anwendung, als Erstversorgung 142 mal, als Zweitversorgung 56 mal. Die durchschnittliche Tragezeit betrug 18,6 Tage. In der Altersgruppe bis zu 14 Jahren betrug das Durchschnittsgewicht der Verbände 48 g, in der Altersgruppe über 14 Jahre 56 g. In den Fällen, in denen eine Vorbehandlung mit Gipsschienen stattgefunden hatte, konnte durch den PUR-Verband eine durchschnittliche Gewichtsverringerung um 57 v.H. erreicht werden.

Unterarmschienenverbände aus PUR wurden in 422 Fällen angewandt, bei 282 Patienten als Erstversorgung, bei 140 als Zweitversorgung. Die durchschnittliche Tragedauer betrug 18,2 Tage. In der Altersgruppe unter 14 Jahren lag das Durchschnittsgewicht bei 92,2 g, darüber bei 112 g. Im Vergleich zu vorher angelegten Gipsschienen betrug die Gewichtsverringerung 66,1 v.H.

PUR-Schienverbände für den Oberarm (Abb.15) wurden in 155 Fällen angelegt, davon 86 mal als Erstbehandlung, 69 mal als Zweitbehandlung. Die durchschnittliche Tragedauer betrug 16,3 Tage. Bei der Altersgruppe unter 14 Jahren betrug das durchschnittliche Gewicht für PUR-Verbände 114g, darüber 209 g. Gegenüber vorher angelegten Gipsschienen wurde eine Gewichtsersparnis von 65,9 v.H. erzielt.

Dorsale PUR-Unterschenkelschienen wurden bei 39 Patienten angelegt, davon 26 mal als Erstversorgung, 13 mal als Zweitversorgung.

Die durchschnittliche Tragedauer betrug 15 Tage. Alle Patienten waren älter als 14 Jahre. Das Durchschnittsgewicht der PUR-Schienen betrug 283 g., gegenüber vorher getragenen Gipsschienen ergab sich eine Gewichtsermäßigung von 67,5 v.H.
Dorsale Oberschenkel-PUR-Schienen wurden bei 19 Patienten angelegt, 9 mal als Erst-, 10 mal als Zweitbehandlung. Die durchschnittliche Tragezeit betrug 16 Tage. Das durchschnittliche Gewicht der PUR-Schienen betrug 431 g. Bei Ersatz der Gipsschiene durch einen PUR-Verband ergab sich eine Gewichtsverringerung von 66,6 v.H.

2. Zirkuläre PUR-Verbände (Tab. 4):
Zirkuläre PUR-Verbände wurden in 65 Fällen angewandt. Dabei handelte es sich in 10 Fällen um einfache zirkuläre Verbände, wobei 8 auf den Unterarm und 2 auf den Unterschenkel (Abb.16) entfielen. Tutoren (Abb. 17a und b) wurden bei 55 Patienten angelegt und zwar bei 30 Patienten als Erst- und bei 25 Patienten als Zweitversorgung. Die durchschnittliche Tragezeit betrug 20 Tage, das durchschnittliche Gewicht 664 g.

3. PUR-Großverbände (Tab. 5):
Schulterarm-Abduktionsverbände (Abb. 18a und b) wurden bei 22 Patienten angelegt. Die durchschnittliche Tragezeit war 25,8 Tage, das Durchschnittsgewicht betrug 1481 g. PUR-Liegeschalen (Abb. 19a und b) wurden in 8 Fällen angefertigt. Das Durchschnittsgewicht betrug 1500 g. PUR-Reklinationskorsetts (Abb. 20a und b) wurden in 3 Fällen angefertigt. Das Durchschnittsgewicht betrug 1230 g.

Schienenverbände

Art des Schienenverb.	Anzahl der Verbände	Erst-/Zweit-Versorgung		Tragezeit in Tagen	Verbandsgewicht in (Gd unter 14 J.	über 14 J.	Gewichtsreduzierung gegenüber Gips in %
Finger/Hand	198	142	156	18,6	48	56	57
Unterarm	422	282	1140	18,2	92,2	112	66,1
Oberarm	155	86	169	16,3	114	209	65,9
Unterschenkel	39	26	113	15		283	67,5
Oberschenkel	19	9	110	16		431	66,6

Indikationen	Frakturen	Luxationen	Distorsionen	Muskel u. Sehnen Schaden	Weichteil-Schaden	Sonstiges
Finger/Hand	141	6	10	16	22	3
Unterarm	243		38	109	20	12
Oberarm	95	3	8	21	5	23
Unterschenkel	26		4	4	2	3
Oberschenkel	8			2	4	5

Gesamt n=833

Tab. 3: Schienenverbände: Art, Indikation und Gewicht.

Abb: 15: Dorsale PUR-Oberarmschiene.

Zirkuläre Verbände

Art des Verbandes	Anzahl der Verbände	Erst- Zweit-Versorgung	Tragezeit in Tagen	Verbandsgewicht in(g)
Tutor	55	30 25	20	664
Unterarm	8	8	23	259
Unterschenkel	2	2	22	675
Indikationen	**Frakturen**	**Distorsionen**	**Muskel- und Sehnenschaden**	**Meniskus- Op**
Tutor	5	21	17	12
Unterarm	8	–	–	–
Unterschenkel	–	2	–	–

Gesamt n=65

Tab. 4: Zirkuläre PUR-Verbände: Art, Indikation und Gewicht

Abb. 16: PUR-Unterschenkelgehverband.

Abb. 17a: PUR-Tutor geschlossen.

Abb. 17b: PUR-Tutor geöffnet.

Abduktionsverbände, Liege-Schalen, Reklinations-Korsetts

Art des Verbandes	Anzahl der Verbande	Erst- Versorgung	Zweit-	Tragezeit in Tagen	Verbandsgewicht in (g)
Abduktionsverband	22	11	11	25,8	1481
Liege-Schale	8	8		49	1500
Reklinations-Korsett	3	2	1	35	1230
Indikationen	**Wirbelfrakturen**	**Oberarmfrakturen**		**Luxationen ACG-Gelenk**	**Pseudarthrose Clavicula**
Abduktionsverband	–	18		2	2
Liege-Schale	8	–		–	–
Reklinations-Korsett	3	–		–	–

Gesamt n=33

Tab. 5: PUR-Großverbände: Art. Indikation und Gewicht.

Abb. 18a : PUR-Abduktionsverband in Vorderansicht
mit Begurtung und verstellbarer Oberarmschiene.

Abb. 18 b: PUR-Abduktionsverband in Seitansicht.

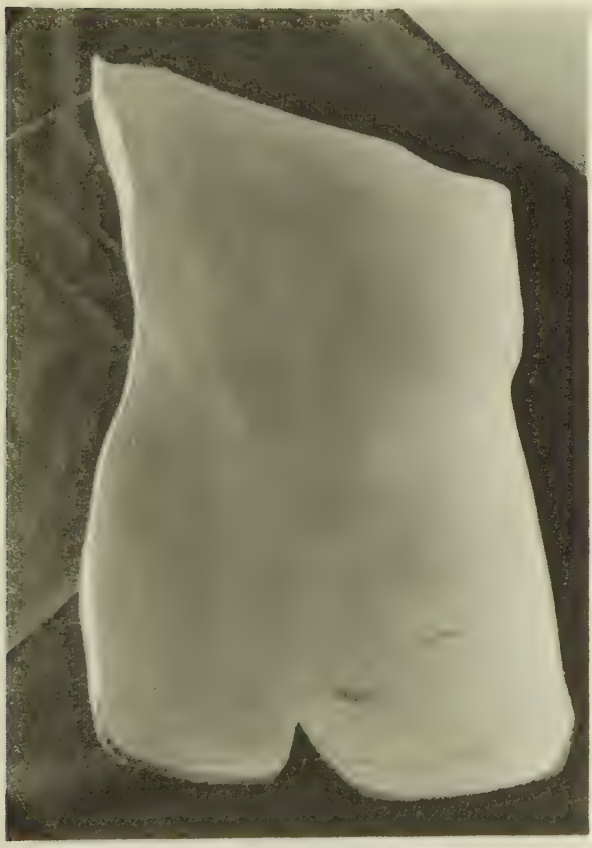

Abb. 19 a: Liegeschale als Rohkörper. Ansicht ohne Schaumgummiauflage von ventral.

Abb. 19 b : Liegeschale von dorsal gesehen, ohne Verstärkung.

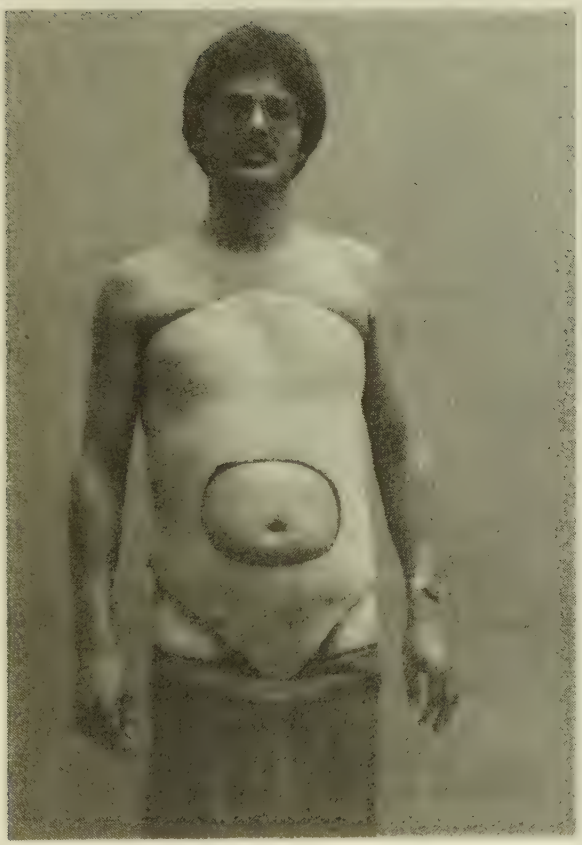

Abb. 20 a: PUR-Reklinationskorsett aus zwei Halbschalen, Frontalansicht.

Abb. 20 b: Reklinationskorsett in Seitansicht mit Klettenverschluß.

Bei den nicht in den Tabellen erschienenen Verbänden handelt es sich um Weiterentwicklungen wie Amputationsköcher und Sarmiento-Verbände. Außerdem wurden Unterarmschienen in 3 verschiedenen Größen zum Ersatz der Kramerschienen für die Ambulanz angefertigt. Die Schienen werden nach Gebrauch gewaschen, getrocknet und vor dem Anlegen mit einem Spray desinfiziert. Sie sind seit 6 Monaten in Gebrauch.

Brüche von Schienenverbänden über ruhiggestellten Gelenken traten in 11 Fällen auf: 1 mal bei Fingerhandschienen, 7 mal bei Unterarmschienen, 3 mal bei Oberarmschien. Als Ursache konnten 5 mal Herstellungsmängel festgestellt werden. In 7 Fällen wurden die Schienenverbände durch Unachtsamkeit oder Sturz der Patienten zerstört.
Hautveränderungen unter den PUR-Verbänden wurden bei 12 Patienten festgestellt. Diese traten in Form eines juckenden und in 2 Fällen zusätzlich nässendem Ekzem auf. Gleichzeitig fand sich eine grau-schwärzliche Verfärbung des Baumwollstrumpfes (Stockflecken). Nach dem mikrobiologischen Untersuchungen handelt es sich um den Pilz Aspergillus nigrans. Bei diesen Patienten kam es nach zusätzlicher Abpolsterung durch Kunststoffwatte zu einem raschen Abklingen der ekzematösen Hautveränderungen.

F. Diskussion

An der chirurgischen Abteilung des St. Barbara-Hospitals Gladbeck, werden bei stationären und ambulanten Patienten ca. 1700 - 1800 Gipsverbände pro Jahr angelegt. Nach Entwicklung der beiden speziell für medizinische Zwecke geeigneten PUR-Systeme wurden im Verlauf von 12 Monaten in 1007 Fällen PUR-Verbände an Stelle eines Gipsverbandes angewandt. Ärztliches und technisches Personal haben zunächst die Möglichkeit des Ersatzes herkömmlicher Gipstechniken durch dieses neue Verfahren skeptisch beurteilt. Bald stellte sich jedoch heraus, daß mit den neuen PUR-Systemen schneller und sauberer als mit dem herkömmlichen Gipsverband gearbeitet werden kann. Die unkomplizierte und schnell erlernbare Anwendungstechnik trug zusammen mit der überwiegend positiven Beurteilung des Verbandes durch die Patienten dazu bei, das Personal für die Methode zu gewinnen.
Die guten physikalischen Eigenschaften des Materials wie große mechanische Festigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht, Wasserfestigkeit bei gleichzeitiger Wasserdurchlässigkeit, erlauben die Anwendung des PUR-Verbandes in der konventionellen konservativen Behandlung und eröffnen neuartige Anwendungsmöglichkeiten, da z.B. eine Polsterung nicht erforderlich ist und die Verbände durch eingearbeitete Verschlusse abnehmbar sind.

Bei der konservativen Bruchbehandlung bringt der PUR-Verband Vorteile im objektiven und subjektiven Behandlungsablauf. Die völlig homogene Struktur des PUR-Verbandes erlaubt objektiv eine bessere Beurteilung von Röntgenbildern des Knochens sowie der fortschreitenden Bruchheilung, ohne Abnahme der Verbände. Subjektiv wird wegen des geringen Gewichtes und der Wasserfestigkeit während der Behandlungsdauer die Verhaltensfreiheit der Patienten weniger beeinträchtigt.

Die geringe Röntgenstrahlenabsorption der PUR-Verbände führt zu einer Einsparung von 2 - 3 Belichtungspunkten gegenüber Gips und hält damit die Strahlenbelastung des Patienten kleiner.
In unserem neuartigen PUR-Stützverband sehen wir jedoch nicht so sehr den Ersatz des "vielgeschmähten", aber doch seit über 100 Jahren bewährten Gipsverbandes, sondern eher eine Erweiterung und Ergänzung der Behandlungsmöglichkeiten mit ruhigstellenden Verbänden.
Wegen des geringen Gewichtes kann der Abduktions-PUR-Verband selbst bei Patienten in hohem Alter angewendet werden und ermöglicht z.B. die rein ambulante Behandlung von Oberarmfrakturen, wobei die Höhenverstellbarkeit der Armschiene besondere Vorteile bietet. Rumpfkorsetts zur Behandlung von Wirbelfrakturen werden vom Patienten als besonders angenehm empfunden, da sie nachts abgelegt werden können. Der abnehmbare Tutor erlaubt während der Ruhigstellung eine regelmäßige Kontrolle des Lokalbefundes sowie eine normale Körperhygiene während der Behandlungszeit. Vom Pflegepersonal der Operations-Abteilung werden vor allem die PUR-Schienen geschätzt. Sie werden aus dem langsam abbindenden PUR II außerhalb des Operationstraktes vorgefertigt, so daß sie dann im Operationssaal ohne Zeitaufwand und ohne Verschmutzung an die zu fixierende Extremität angewickelt werden können.
Wegen der Wasserfestigkeit des Materials sind alle PUR-Verbände abwaschbar und können mit den krankenhausüblichen Desinfektionsmitteln nachbehandelt werden.
Die herkömmlichen Techniken zur Herstellung orthopädischer Hilfsmittel können vereinfacht werden, da unser PUR-Verband direkt am Körper modelliert wird und somit Zwischenformen bzw. Abgüsse überflüssig sind. Mit Hilfe unseres PUR-Systems kann der Zeitraum bis zur endgültigen orthopädischen Versorgung - ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens - besser als bisher überbrückt werden.
Preislich gesehen liegt der PUR-Verband im Kostenbereich herkömmlicher Gipsverbände - ein Aspekt, der kassenwirtschaftlich nicht unwichtig ist.

G. Zusammenfassung

Es werden die Erfahrungen mit einem neu entwickelten Kunststoffstützverband an 1007 Patienten beschrieben. Verwendet wurde eine speziell für medizinische Zwecke entwickelte Polyurethan-Hartschaummasse, die nach der Vermischung der beiden Komponenten A (Polyol) und B (Isocyanat) entsteht. Das Prinzip unseres Stützverbandes besteht darin, daß die beiden hochviskosen Komponenten nach Vermischung im Verhältnis 1 : 1 in einen Baumwollstrumpf mit hoher Querelastizität eingefüllt werden. Nach Auswalzung auf die gewünschte Schichtdicke wird der Strumpf an die zu fixierende Extremität angewickelt und härtet hier zur Polyurethan-Hartschaummasse aus. Durch den Feuchtigkeitsgehalt des entfetteten Baumwollstrumpfes bildet sich im Kontaktbereich eine 1 – 2 mm starke Schaumschicht, die jede weitere Polsterung erübrigt. Entsprechend werden unter Verwendung des Doppelkammerstrumpfes zirkuläre Verbände hergestellt, die durch Einarbeitung von Reißverschlüssen, Klettenverschlüssen usw. abnehmbar sind. In gleicher Weise können Liegeschalen, Abduktionsverbände und Rumpfkorsetts angefertigt werden. Die physikalischen Eigenschaften des Stützverbandes werden dargestellt: Er zeichnet sich neben seinem geringen Gewicht besonders durch hohe Festigkeit, Wasserunempfindlichkeit und gute Röntgenstrahlendurchlässigkeit aus. Die Herstellung ist einfach und erfordert einen geringen Kostenaufwand.

H. Literaturverzeichnis

1. Arkel, van: Soll der Gipsverband außer Gebrauch kommen?
Mschr. Unfallhk. 51/52, 349 (1948/49)

2. Bernett, P.
Brebeck, H.
Golf, E.
Hipp, E.
Prokscha, G.
Wiendl, H.J.
Schwabe, M.: Neuer Fiberglasverband zur Ruhigstellung.
Ergebnisse experimenteller und klinischer Erprobung von 595 Fiberglasverbänden.
Langenbecks Arch. chir. 334 (1973)

3. Bernet, P.
Brebeck, H.
Hipp, E.
Prokscha, G.
Schwabe, M.
Wiendl. H.J.: Fiberglasverband bei Knochen- und Weichteilverletzungen.
Mschr. Unfallheilk. 78, 76 - 85 (1975)

4. Biermann, U.: Über einen neuen Kunststoffverband in der Knochenbruchbehandlung.
Landarzt 30/22, 587 (1954)

5. Bofors,
Aktiebolaget Bofors: Stützverbandmaterial.
Patentauslegeschr. Nr. 1.212.674, Kl 30 d, Gr. 21, Dez. 1955

6. Cellona-Almanach: Lohmann KG, Fahr/Rhein
4. Aufl. 1970

7. Egen, K.
Schelzig, M. Dem menschlichen Körper anzupassende starr werdende Formkörper für medizinische Zwecke.
Patentschr. Nr. 874947, Kl 30 d, Gr. 21, April 1953

8. Ey, G.: Untersuchungen über die Verwendungsfähigkeit von Polyurethanhartschaum zur Gliedmaßenfixation bei Haustieren. Vet. Diss., Hannover (1971)

9. Gardner, W. J.: Inflatable emergency dressing. Cleveland clin. Quart. 29, 54-6 (1962)

10. Gehrke, W.: Entspricht die Gipsung von Körperteilen noch dem heutigen Stand der Technik? Landarzt 22, 321 (1955)

11. Götze,J. Über die konservative Knochenbruchbehandlung. Münch. med. Wschr. 19, 697-700 (1957)

12. Grunert,H.: Polyvinylchlorid für stabile Verbände. Chirurg. 28/3, 119 (1957)

13. " Eine neue Verbandmethode zur Immobilisierung von Gliedmaßenteilen. Münch. med. Wschr. 100, 200-1 (1958)

14. Hartmann, J.T.: Use of the pneumatic splint asa compressing dressing. Cleveland Clin. Quart. 32, 1-4 (1965)

15. Heinze, R.
Anstett, F.
Börner, R.
Matzen, P.F.
Thinius, K.: Kunststoffe in der Medizin. Johann Ambrosius Barth Verlag (1955)

16. Hell, K.: Erfahrungen mit einem neuen Kunststoff-Stützverband. Ther. Umsch. 31/4, 275-8 (1974)

17. Hersing, F.: Verbandstoffe für feste Verbände Patentschr. Nr. 116628, Kl 30 d, Gr. 21, Dez. 1900

18. Herrmann, L.: Ein fixierender Kunststoffverband. Zbl. Chir. 83/22, 1171 (1958)

19. Hipp, E. Radke, J. Jannsen, R. Heep, R. Schnitzler, M. Oehl, R. Glas, K.: Lightcast II, ein fixierender Fiberglasverband. Sonderdruck aus Med.-orthopädische Technik. 94/2, 25-27 (1974)

20. Hipp, E. Schnitzler, M.: Der fixierdende Verband in der Skitraumatologie Sonderdruck aus Fortschritte der Medizin. 93/3, 87-90 (1975)

21. Hoffmann, E.: Vergleichende Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften eines Fiberglasfaserkunstharzverbandes als erstarrender Verband zur Ruhigstellung von Gliedmaßen. Med. Diss., München (1973)

22. Hoppe,P.: Verfahren zum Herstellen eines Verbandes zum Stützen und Festlegen kranker und verletzter Glieder. Patentschr . Nr. 805664, Kl 30 d, Gr. 21, Mai 1951

23. Koch, P.: Herstellung plastischer Verbandpappe. Patentschr. Nr. 17048, Kl 30 d, Gr. 21, Feb. 1882

24. Koelschtzky, W.: Über einen badefähigen Gipsverband. Chirurg. 30/12, 566 (1959)

25. Kohl,A.: Verbandmaterial zur Herstellung von Steifverbänden. Patentauslegeschr. Nr. 1208 032, Kl 30 d, Gr. 21, Dez. 1963

26. Lohmann KG, Fahr/Rhein: Verbände, Zinkleimbinden und dgl., die erweichbar sind und nach dem Anlegen wieder erhärten. Patentschr. Nr. 663717, Kl 30 d, Gr. 21, Aug. 1938

27. Mathijsen, A.: Nieuwe wijze van het Aanwendung van hat Gipsverband bij Beenbreucken. Harlem (1852)

28. Memminger, K.: Verbandmaterial. Patentschr. Nr. 675380, Kl 30 d, Gr. 21, Mai 1939

29. Mouret, A.: L' attel pneumatique. Rev. Prat. 15, 360-4 (1965)

30. Pahde,W.: Transport- und Lagerungsschiene zur Behandlung von Knochenbrüchen und Verletzungen. Patentschr. Nr. 877585, Kl 30 d, Gr. 21, Feb. 1953

31. Reber, W.E. Nigst, H.: Ein neuer Kontentiv-Verband. Chirurg. 37, 469-71 (1966)

32. Runzheimer, J.
Wilhelm, K.: Kunststoffausschäumung gelockerter Gipsverbände.
Arch. orthop. Unfall-chir.
79, 107-113 (1974)

33. Schirmer,F.: Die Möglichkeit der Verwendung von Polyurethan-Hartschaum als erstarrender Verband zur Ruhigstellung von Extremitäten.
Med. Diss., Freiburg i.Br. (1966)

34. Schnitzler, M.: Fiberglas als Werkstoff bei der Herstellung von Schienen.
Arch.-orthop. Unfall-Chir.
78, 265-268 (1974)

35. Schulze,W.
Wilhelm,L.: Gießharzverbände
Langenbecks Arch. chir.
282, 995-8 (1955)

36. " Zur Klinik der Gießharzverbände.
Langenbecks Arch. chir.
284, 735 (1956)

37. " Der Tränkharzverband
Zbl. chir. 83/39 1365-6 (1958)

38. " Der Tränkharzverband.
Melsunger Med.-pharm.
Mitteilungen 90, 1736-7 (1958)

39. " Tränkharzverband in der Frakturenbehandlung.
Ärztl. Mit. 44/38, 1365 (1959)

40. Schulze, W.
Wilhelm, L.: Ruhigstellende Kunststoffverbände.
Med. Techn. 80/3, 111 (1960)

41. Spuhl, R.
Wirth, R.: Gipsbindenersatz
Patentschr. Nr. 492975, Kl 30 d,
Gr. 21, Feb. 1930

42. Steudel, J.: Zur Geschichte der erstarrenden Verbände.
Dtsch. med. Wschr. 646 (1947)

43. Swolinsky, K.: Stödjeförband av Konstharz.
Nord. Med. 59, 499 (1958)

44. Szulc, J.
Starkiewicz, M.
Starkiewicz, C.: Opatrunki Unieruchamiajace
Tworzyw Sztucznych.
Chir. Narzad. Ruchn. ortop. Pol.
27, 195-7 (1962)

45. Teufel, W.J.: Versteifungs-oder Stützverband für
Knochenbrüche, Verstauchungen o. dgl.
Patentschr. Nr. 492352, Kl 30 d,
Gr. 6 , Feb. 1930

46. Valentin, B.: Die Geschichte des Gipsverbandes.
Beilageheft zur Zschr. f. Orthop.
87 (1956)

47. Vogel, M.: Plastischer Verband.
Patentschr. Nr. 17514, Kl 39 d
Gr. 21, März 1882

Herrn Priv. Doz. Dr. A. Blömer möchte ich für die Überlassung des Themas und die jederzeit gewährte Unterstützung danken.

Auch Herrn Krankenpfleger W. Heckener sei hiermit für die freundliche Hilfe mein herzlicher Dank ausgesprochen.

Lebenslauf

Am 10. Sept. 1948 wurde ich, Rainer Michael Aichinger-Hinterhofer, als zweites Kind des Dr. Ing. Heinrich Aichinger-Hinterhofer und seiner Ehefrau Hannelore, geb. Knepper, in Bardenberg/ Aachen geboren.

In Dortmund besuchte ich die Grundschule und das altsprachliche Stadtgymnasium. Nach der Reifeprüfung im Dezember 1968 immatrikulierte ich mich im April 1969 an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen für das Studium der Medizin.

Nach der ärztlichen Vorprüfung im Oktober 1971 setzte ich das Studium an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn fort und begann dort zugleich das Studium der Zahnmedizin.

Nach der zahnärztlichen Vorprüfung im September 1972 legte ich im Januar 1975 die ärztliche und im April des gleichen Jahres die zahnärztliche Prüfung ab.

Im Mai 1975 erhielt ich die Bestallung als Zahnarzt. Als Medizinalassistent war ich an dem St.-Barbara-Hospital Gladbeck tätig.

Zur Zeit arbeite ich als wissenschaftlicher Angestellter am Anatomischen Institut der Universität Bonn.